

УДК 622.691.4

Г. С. Ратушняк, к. т. н., проф.; О. І. Ободянська

МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ

У статті запропоновано модель на основі нечіткої логіки інтелектуальної підтримки прийняття управлінського рішення під час реалізації проектів оцінки та прогнозування технічного стану складної системи газопостачання з урахуванням кількісних та якісних факторів впливу.

Ключові слова: система газопостачання, контроль, управлінське рішення, фактори впливу, технічний стан системи газопостачання.

Вступ

Одним із найголовніших стратегічних завдань забезпечення надійності поставок природного газу на європейський ринок та забезпечення власних споживачів є підтримання на високому технічному рівні й подальше розширення газотранспортної системи України. Обстеження газопроводів і їхніх споруд необхідне для визначення їхнього технічного стану, а також можливостей й умов подальшої експлуатації. Позитивні показники технічного стану характеризують безпечну й надійну експлуатацію газопроводів і споруд на них [1]. В умовах інтенсивного розвитку ринку газу в Україні винятково актуальною є проблема забезпечення надійності та ефективності роботи газотранспортної системи, що досягається постійною об'єктивною оцінкою її технічного стану з урахуванням кількісних і якісних проектних рішень та таких параметрів, що характеризують будівельно-монтажні роботи та умови експлуатації системи.

Постановка завдання, визначальні співвідношення

Управління технічним станом системи газопостачання – це складний процес, що вимагає наявності достовірної інформації про поточний стан інженерних мереж, ефективних механізмів її обробки для забезпечення чіткої взаємодії різних підрозділів та служб газового господарства щодо підтримання її в робочому стані [1]. Газорозподільна система багатофакторна. Чинники впливу на технічний стан системи газопостачання можна розділити на декілька груп: дефекти, що виникають під час проектування системи; ті, що пов'язані з будівельно-монтажним циклом; ті, що виникають у процесі експлуатації. У роботах [2, 3] розглянуто їхню ієрархічну класифікацію. Теорія нечітких множин і основана на ній логіка дозволяють описувати неточні категорії, уявлення і знання, оперувати ними й робити відповідні висновки. Наявність таких можливостей для формування моделей різноманітних об'єктів, процесів і явищ на якісному рівні визначає інтерес до організації інтелектуального управління на основі використання методів нечіткої логіки [4, 5]. Однією з особливостей системи газопостачання є високий ступінь невизначеності зміни великої кількості чинників впливу й постійно мінливі параметри її функціонування. Тому розробка моделі інтегрованої оцінки технічного стану системи газопостачання з урахуванням невизначеності для підвищення ефективності управлінських процесів є метою цієї статті.

Однією з причин низького енергозбереження ресурсу в системі газопостачання є відсутність надійного комплексного інструменту з контролю її технічного стану та управління системними компонентами та процесами, де б враховувалися чинники, які мають кількісний і якісний характер. Вирішення цього завдання можливе з використанням математичної моделі прийняття управлінських рішень, розробленої на основі теорії нечіткої логіки й лінгвістичних змінних, яка дозволяє враховувати кількісні та якісні параметри, які впливають на надійність управління

системою газопостачання [6, 7].

Нечіткі системи керування ефективно використовуються там, де об'єкт керування достатньо складний для його точного опису та існує дефіцит апріорної інформації про поведінку системи. Цим об'єктом керування є система газопостачання. Нечіткі системи керування мають базу знань і елементи штучного інтелекту та можуть бути реалізовані спеціальними нечіткими контролерами, у яких нечіткі висновки виконуються шляхом обчислення характеристичних значень вихідної лінгвістичної змінної через характеристичні значення вхідних лінгвістичних змінних за логічними формулами, що використовують логічні операції „І” та „АБО”.

Моделювання управління технічним станом системи газопостачання розглянуто на прикладі чинників впливу, які належать до будівельно-монтажних робіт. Розглядаючи цей процес на системному рівні, лінгвістична змінна, що описує будівельно-монтажні роботи, може бути представлена виразом

$$Y = f_y(y_1; y_2; y_3; y_4), \quad (1)$$

де y_1 – ЛЗ “механічні пошкодження під час транспортування”; y_2 – ЛЗ “якість зварних стиків”; y_3 – ЛЗ “стан антикорозійного ізоляційного покриття”; y_4 – ЛЗ “утворення монтажного напруження”.

У рівняння (1) входять змінні y_2 , y_3 , які, у свою чергу, залежать від інших чинників:

$$y_2 = f_{y_2}(c_1; c_2; c_3), \quad (2)$$

$$y_3 = f_{y_3}(d_1; d_2), \quad (3)$$

де c_1 – ЛЗ “тріщини будь-яких розмірів і напрямків”; c_2 – ЛЗ “нешільність зварних стиків”; c_3 – ЛЗ “газові пори й зашлакованість зварного шва”; d_1 – ЛЗ “порушення технології під час приготування і нанесення ізоляційного покриття”; d_2 – ЛЗ “неякісна підготовка подушки під газопровід”.

Оцінка рівнів лінгвістичних змінних, що пов'язує будівельно-монтажні роботи (Y) з механічними пошкодженнями під час транспортування (y_1), якістю зварних стиків (y_2), зі станом антикорозійного ізоляційного покриття (y_3) та з утворенням монтажного напруження (y_4), виконується з використанням оцінних систем терм-множин, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Чинники впливу як лінгвістичні змінні

Позначення та назва змінної	Універсальна множина	Терми для оцінки
y_1 – механічні пошкодження під час транспортування та монтажу газопроводів	0...100%	присутні, частково відсутні, відсутні
c_1 – тріщини будь-яких розмірів і напрямків	0...100%	присутні, частково відсутні, відсутні
c_2 – нещільність зварних стиків	0...100%	присутня, частково відсутня, відсутня
c_3 – газові пори й зашлакованість зварного шва	0...100%	присутні, частково відсутні, відсутні
d_1 – порушення технології під час приготування та нанесення ізоляційного покриття	(1...3) у. о.	можливе, часткове, неможливе
d_2 – неякісна підготовка подушки під газопровід	(1...3) у. о.	можлива, часткова, неможлива
y_4 – утворення монтажного напруження	0...100 Нм	високе, середнє, мале

Математична модель представлена системою нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних з відповідного терму [4, 5]:

$$\mu_H(Y) = \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_H(y_2) \wedge \mu_H(y_3) \wedge \mu_B(y_4) \vee \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_{HC}(y_2) \wedge \mu_H(y_3) \wedge \mu_B(y_4); \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \mu_{nC}(Y) = & \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_H(y_2) \wedge \mu_{nC}(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \vee \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \\ & \wedge \mu_{nC}(y_2) \wedge \mu_{nC}(y_3) \wedge \mu_C(y_4) \vee \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_H(y_2) \wedge \mu_{nC}(y_3) \wedge \mu_B(y_4); \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mu_C(Y) = & \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_M(y_4) \vee \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \\ & \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_B(y_4) \vee \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_M(y_4); \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \mu_{\Pi}(Y) = & \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_C(y_2) \wedge \mu_C(y_3) \wedge \mu_M(y_4) \vee \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \\ & \wedge \mu_{\Pi}(y_2) \wedge \mu_{\Pi}(y_3) \wedge \mu_M(y_4) \vee \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_{\Pi}(y_2) \wedge \mu_{\Pi}(y_3) \wedge \mu_C(y_4); \end{aligned} \quad (7)$$

$$\mu_B(Y) = \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_{\Pi}(y_2) \wedge \mu_{\Pi}(y_3) \wedge \mu_M(y_4) \vee \mu_{\Pi}(y_1) \wedge \mu_B(y_2) \wedge \mu_B(y_3) \wedge \mu_M(y_4). \quad (8)$$

Використання нечітких логічних рівнянь потребує визначення функції належності $\mu_m(u)$ усіх нечітких термів. Побудова функцій належності передбачає фазифікацію нечітких оцінок чинників впливу, до якої входить вибір нечітких термів (табл. 1). Потім складаємо матрицю, що відображає парні порівняння різних величин чинників впливу з погляду їхньої близькості до термів, у результаті чого отримуємо ступені належності оцінних термів. Отримані результати функцій належності нормуємо на одиницю шляхом ділення на найбільший ступінь належності. Функції належності для лінгвістичних змінних, що описують будівельно-монтажні роботи системи газопостачання, представлені на рис. 1. Функції належності не можуть бути використані, якщо вхідна змінна змінюється безперервно. Вхідна змінна може набувати значення не тільки u_i ($i = \overline{1,5}$), але й проміжні. Використання лінійної інтерполяції дозволяє знехтувати цим обмеженням. Якщо відомо, що $\mu_m(u_i) = \mu_i$ та $\mu_m(u_{i+1}) = \mu_{i+1}$, то значення $\mu_m(u^*)$, де $u^* \in (u_i, u_{i+1})$, знаходиться зі співвідношення [4, 5]:

$$\mu_m(u^*) = \frac{u^*(\mu_{i+1} - \mu_i) + \mu_i(u_{i+1} - u_i) - u_i(\mu_{i+1} - \mu_i)}{u_{i+1} - u_i}. \quad (9)$$

Аналіз змінних (y_1, y_2, y_3, y_4) тільки на дискретній універсальній множині не дозволяє враховувати випадки, коли на будівельно-монтажні роботи впливають змішані чинники. З метою уникнення цього обмеження задаємо в якості області визначення змінної умовний інтервал, на якому кожному елементу множини відповідають певні значення. Використовуючи функції належності (рис. 1) та формулу (9), знаходимо їхні аналітичні моделі оцінок вхідних змінних для термів, які описуються системою рівнянь виду

$$\mu_m(u^*) = \frac{au^* + b}{c}, \quad (10)$$

де $a = \mu_{i+1} - \mu_i$; $b = \mu_i(u_{i+1} - u_i) - u_i(\mu_{i+1} - \mu_i)$; $c = u_{i+1} - u_i$.

Щоб перейти від отриманих нечітких множин до кількісної оцінки, необхідно виконати процедуру дефазифікації, тобто перетворення нечіткої інформації в чітку форму. Серед різних методів дефазифікації найбільш поширеним є знаходження “центра ваги” плоскої фігури, яка обмежена функцією належності нечіткої множини та горизонтальною координатою [4, 5]. Дефазифікація нечітких множин за принципом “центра ваги” дає кількісну оцінку технічному стану системи газопостачання C_R^* за заданих значень чинників впливу

$$Y^* = (y_1, y_2, y_3, y_4) = \frac{\sum_{i=1}^l Y^{d_i} \cdot \mu_{d_i}(Y)}{\sum_{i=1}^l \mu_{d_i}(Y)}, \quad (11)$$

де l – кількість нечітких термів для оцінки змінної Y ; d_i – назва i -го терму, $i = \overline{1, l}$; $\mu_{qi}(Y)$ – ступінь належності Y до терму d_i .

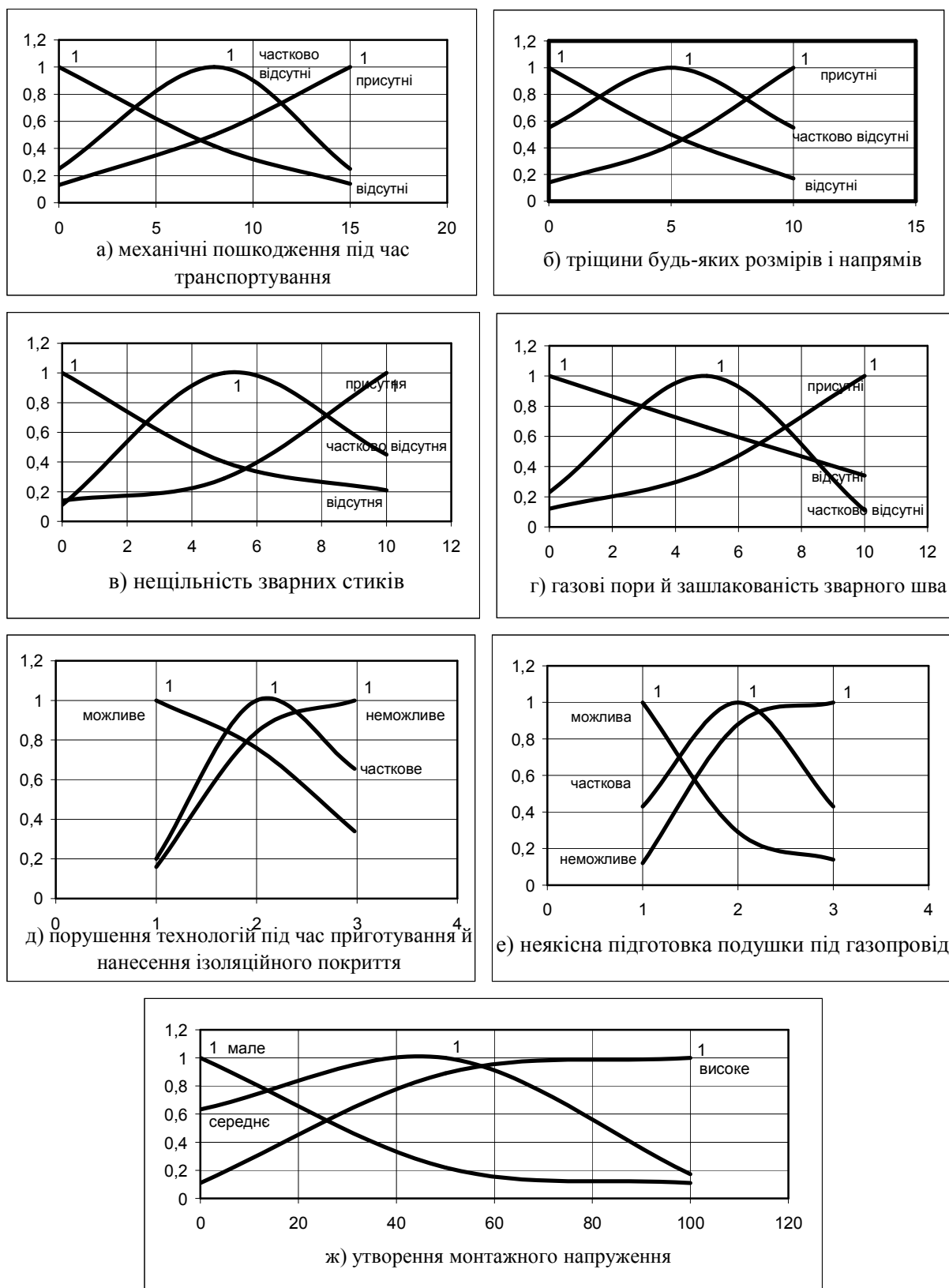


Рис. 1. Функції належності для лінгвістичних змінних, що описують будівельно-монтажні роботи

Використовуючи аналітичні формули (4) – (8) та значення функцій належності змінних y_1 , y_2 , y_3 та y_4 (рис. 1) отримані значення функцій належності терм-оцінок змінної Y :

$$\mu_H(Y) = 0,64 \cdot 0,42 \cdot 0,76 \cdot 0,12 \vee 0,64 \cdot 0,66 \cdot 0,76 \cdot 0,12 = 0,76 \cdot 0,76 = 0,76;$$

$$\mu_{nC}(Y) = 0,64 \cdot 0,42 \cdot 0,84 \cdot 0,64 \vee 0,64 \cdot 0,66 \cdot 0,84 \cdot 0,64 \vee 0,84 \cdot 0,42 \cdot 0,84 \cdot 0,12 = 0,84 \cdot 0,84 \cdot 0,84 = 0,84;$$

$$\mu_C(Y) = 0,84 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 0,99 \vee 0,35 \cdot 1 \cdot 0,88 \cdot 0,12 \vee 0,64 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 0,99 = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1;$$

$$\mu_{eC}(Y) = 0,35 \cdot 1 \cdot 0,88 \cdot 0,99 \vee 0,84 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99 \vee 0,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,64 = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1;$$

$$\mu_B(Y) = 0,35 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 0,99 \vee 0,35 \cdot 0,66 \cdot 0,84 \cdot 0,99 = 1 \cdot 0,99 = 0,99.$$

Отримані значення функції належності змінної Y дозволять в комплексі з значеннями функцій належності змінних X – проектні рішення та Z – експлуатація системи одержати прогнозовану оцінку технічного стану системи газопостачання. При цьому отримане рішення буде ґрунтуватися на результатах віртуального експерименту, який проведено з використанням експертної бази знань.

Висновки

1. Запропонована модель служить менеджерам проекту для оцінки технічного стану системи газопостачання засобом для інтелектуальної підтримки прийняття незалежних управлінських рішень з урахуванням кількісних та якісних збуджувальних чинників, що впливають на надійність газорозподільної системи.

2. На підставі отриманих за допомогою теорії нечіткої логіки та лінгвістичних змінних прогнозованих характеристик стану системи газопостачання розробляються організаційно-технологічні заходи щодо її удосконалення та реконструкції, що сприятиме підвищенню надійності забезпечення газом споживачів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сідак В. С. / Інноваційні технології в діагностиці та експлуатації систем газопостачання / В. С. Сідак. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 227 с.
2. Ратушняк Г. С. / Моделювання процесу інтелектуальної підтримки прийняття рішення щодо оцінки стану системи газопостачання методом парних порівнянь / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. – № 1 (17). – с. 52 – 55.
3. Ратушняк Г. С. / Моделювання надійності систем газопостачання на основі лінгвістичної інформації / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – № 1. – с. 97 – 103.
4. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – 145 с.
5. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.
6. Ратушняк Г. С. / Модель багатофакторної оцінки технічного стану системи газопостачання / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2010. – № 1. – с. 125 – 131.
7. Ратушняк Г. С. / Розроблення моделі оцінювання технічного стану розподільчих газопроводів для створення муніципальної ПС підсистеми газопостачання / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку. Київ. – 2010. – № 4. – с. 234 – 237.

Ратушняк Георгій Сергійович – к. т. н., завідувач кафедри теплогазопостачання, директор інституту будівництва теплоенергетики та газопостачання, тел.: (0432) 46-52-04; e-mail: ratushnyak@inbtegp.vstu.vinnica.ua.

Ободянська Ольга Ігорівна – аспірант кафедри теплогазопостачання, тел.: +380674304208; e-mail: olha.obodyanska@i.ua.

Вінницький національний технічний університет.